

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-307391

(43)Date of publication of application : 22.11.1996

(51)Int.Cl.

H04J 14/08  
H04B 10/02

(21)Application number : 07-129633

(71)Applicant : KANSAI ELECTRIC POWER CO  
INC:THE

(22)Date of filing : 28.04.1995

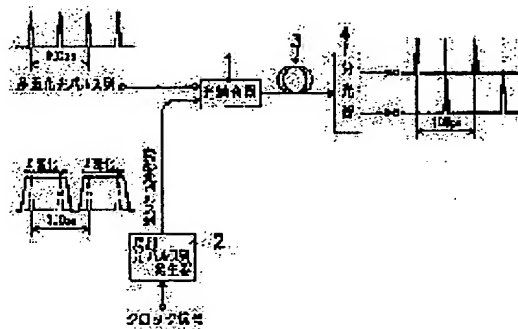
(72)Inventor : KANEOKA YASUHIRO  
AOMI YOSHIYUKI  
FUKUOKA TADASHI

## (54) METHOD AND DEVICE FOR SEPARATING TIME-MULTIPLEXED OPTICAL PULSE STRING

## (57)Abstract:

PURPOSE: To easily separate a multiplexed optical pulse string in each channel by optically mixing a local optical pulse signal of which waveform is changed with a multiplexed optical pulse string and generating optical pulse strings having respectively different wavelengths in each channel by four-wave mixing action.

CONSTITUTION: This time-multiplexed optical pulse string separating device is provided with a local optical pulse string generator 4 for generating a local optical pulse string of which wavelength is changed in each optical pulse, a photocoupler 4 for coupling the local optical pulse string with a multiplexed optical pulse string, a four-wave mixing optical fiber 2 for applying four-wave mixing action to the coupled local optical pulse string and multiplexed optical pulse string, and a demultiplexer 3 for separating and outputting only an optical pulse string with wavelength newly generated by the four-wave mixing action.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-307391

(43) 公開日 平成8年(1996)11月22日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J 14/08			H 0 4 B 9/00	D
H 0 4 B 10/02				U

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平7-129633

(22) 出願日 平成7年(1995)4月28日

(71) 出願人 000156938

関西電力株式会社

大阪府大阪市北区中之島3丁目3番22号

(72) 発明者 金岡 泰弘

大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号

関西電力株式会社内

(72) 発明者 青海 恵之

大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号

関西電力株式会社内

(72) 発明者 福岡 正

大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号

関西電力株式会社内

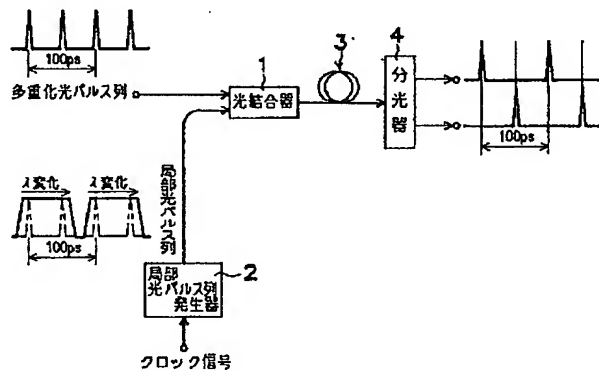
(74) 代理人 弁理士 河▲崎▼ 眞樹

(54) 【発明の名称】 時間多重化光パルス列分離方法及びその装置

(57) 【要約】

【目的】 波長が変化する局部光パルス列を多重化光パルス列と光混合させて4光波混合作用によりチャンネルごとに異なる波長の光パルス列を発生させることにより、この多重化光パルス列のチャンネルごとの分離を簡単に行うことができる時間多重化光パルス列分離方法及びその装置を提供する。

【構成】 各光パルスごとに波長が変化する局部光パルス列を発生する局部光パルス列発生器4と、この局部光パルス列を多重化光パルス列と結合させる光結合器1と、これら結合された局部光パルス列と多重化光パルス列とに4光波混合作用を施す4光波混合光ファイバ2と、この4光波混合作用により新たに発生した波長の光パルス列のみを分離出力する分光器3とからなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 同一波長の光による同一周期の基本光パルス列をチャンネルごとに順次時間をずらして重畳させたフォーマットであって、各光パルスに強度変調が加えられた多重化光パルス列と、この多重化光パルス列の光の波長の近傍において、基本光パルス列の周期ごとに波長が繰り返し変化する局部光とを結合させて4光波混合作用を施し、この4光波混合作用を施した光から特定波長の光を取り出すことにより、多重化光パルス列からチャンネルごとの光パルス列を分離することを特徴とする時間多重化光パルス列分離方法。

【請求項2】 同一波長の光による同一周期の基本光パルス列をチャンネルごとに順次時間をずらして重畳させたフォーマットであって、各光パルスに強度変調が加えられた多重化光パルス列からチャンネルごとの光パルス列を分離する時間多重化光パルス列分離装置において、多重化光パルス列の光の波長の近傍において、基本光パルス列の周期ごとに波長が繰り返し同一の変化を行う局部光を発生する局部光発生器と、

この局部光発生部が発生した局部光と多重化光パルス列とを結合させる光結合器と、

この光結合器で結合させた光に4光波混合作用を施す4光波混合器と、

この4光波混合器で4光波混合作用を施した光を分光する分光器とを備えたことを特徴とする時間多重化光パルス列分離装置。

【請求項3】 前記多重化光パルス列におけるチャンネルの総数を $N$ とし、このチャンネル間の時間間隔を $T$ とし、この多重化光パルス列の各光パルスの時間幅を $W$ とした場合に、前記局部光発生器が、 $(N-1) \times T + W$ よりも広い時間幅を有する光パルスであり、かつ、この時間幅の間に波長が連続的に所定の変化を行う光パルスが基本光パルス列の周期で繰り返し現れる光パルス列を局部光として発生させるものであることを特徴とする請求項2に記載の時間多重化光パルス列分離装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、リターンゼロ方式の光パルス列を時間的に多重化して高密度な多重化光パルス列として伝送する場合において、受信側でこの多重化光パルス列をチャンネルごとの光パルス列に分離するための時間多重化光パルス列分離方法及びその装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光ソリトンパルスは、光ファイバにおける分散と、光強度により屈折率に変化する非線形効果（自己位相変調効果）とが釣り合うことにより成立する。従って、この光ソリトンパルスは、ごくわずかな分散が生じるように、光ファイバのゼロ分散波長よりも2

～10nm程度長波長側の光を用いる。ゼロ分散波長とは、光ファイバの分散値が $0 \text{ ps/km/nm}$  ( $\text{ps}$ は $\text{p}$ 秒を表す)となる光の波長をいい、通常の光ファイバでは1.3 $\mu\text{m}$ や1.5 $\mu\text{m}$ 付近の波長がゼロ分散波長となる。また、この光ソリトンパルスは、光強度が非線形効果を起こす程度に十分に強くなければならないため、例えばFWHM（光パルスがピークパワーの半分以上の振幅を持続する時間）が10～15psでピークパワーが10～20mW程度の急峻な光パルスとする必要がある。なお、この光パルスのFWHMは、1psやそれ以下のものを用いた実験も報告されている。

【0003】上記光ソリトンパルスは、本来は光パルスが孤立波として伝送されるものであるが、光ソリトン伝送では、この光パルスを所定周期の光パルス列として伝送する。この際、各光パルスは、所定のFWHMとピークパワーを要するため、デジタル信号の“0”と

“1”に応じてこの光パルスを透過又は遮断させることにより光パルスの有無による強度変調（振幅変調）が行われる。また、この光ソリトン伝送における光パルス列は、各光パルスの間に光のない状態が十分な時間必要となるため、ノンリターンゼロ方式（NRZ方式）を用いるのが一般的な通常の光通信とは異なり、リターンゼロ方式（RZ方式）の信号となる。

【0004】ところで、信号の電氣的な伝送では、10Gbit/s（Gビット毎秒）を大きく超えると、電気信号のパルス幅が極度に狭くなるため非常に扱い難いものとなり実用的ではなくなる。しかし、光ソリトン伝送では、10Gbit/sの伝送速度の場合、各光パルスの時間間隔が100psとなるため、FWHMを10psとしても光のない時間を十二分に確保できる。このため、1系列の光パルス列に別の信号系列の光パルス列を時間をずらして重畳すれば、複数の信号系列の光パルス列を高密度に多重化して超高速の光通信が可能となる。例えば10Gbit/sの光パルス列を8チャンネル多重化した80Gbit/sの多重化光パルス列や16チャンネル多重化した160Gbit/sの多重化光パルス列の伝送実験の報告が既になされている。

【0005】図3に4チャンネルの光パルス列を多重化する光パルス時間多重化装置の一例を示す。この光パルス時間多重化装置は、周期が100psの基本光パルス列が光分配器21に入力されるようになっている。光分配器21は、入力された1系列の基本光パルス列を4チャンネルの基本光パルス列に等分配して出力する光回路素子である。この光分配器21から出力された4チャンネルの基本光パルス列は、それぞれ光変調器22a～22dと光遅延器23a～23dとを介して光結合器24に入力される。光変調器22a～22dは、それぞれが対応するチャンネルの電氣的なデジタル信号からなる伝送信号に応じて、光パルスの透過又は遮断を制御することにより、光パルス列に変調を加える回路素子であ

る。光遅延器23a~23dは、光パルス列を所定の遅延時間だけ遅延させる光回路素子であり、素子の光路長を変更することにより、チャンネルごとにこの遅延時間を0ps、25ps、50ps及び75psに設定して、順次25psずつの時間差(90°ずつの位相差)が生じるようにしている。光結合器24は、入力された4チャンネルの光パルス列を結合させて、1系列の多重化光パルス列を出力する光回路素子である。

【0006】この光パルス時間多重化装置は、周期100ps(10Gb/s)の4チャンネルの基本光パルス列に光変調器22a~22dによってそれぞれ独立に変調を加えると共に、光遅延器23a~23dによって順次25psずつ時間をずらすことにより、各チャンネルの光パルスを周期100psの間に等間隔に配置する。そして、これらの光パルス列を光結合器24によって結合させることにより、40Gb/sの多重化光パルス列を得ることができる。なお、図3に示した多重化光パルス列の波形は、説明を分かり易くするために、伝送信号の全ビットが例えば“1”となり基本光パルス列の光パルスが光変調器22a~22dで全て透過された場合を示す。また、以下に示す多重化光パルス列の波形についても同様である。

【0007】上記多重化光パルス列を用いて光通信を行う場合、受信側では、光学的な手段によってこの多重化光パルス列を電気的に取り扱いが容易な伝送速度となる各チャンネルごとの光パルス列に分離する必要がある。このようなチャンネルごとの分離を行う従来の時間多重化光パルス列分離装置の一例を図4に示す。この時間多重化光パルス列分離装置は、伝送されて来た多重化光パルス列を光分配器5に入力するようになっている。光分配器5は、図3に示した光分配器21と同様の構成の光回路素子であり、3デシベルカブラを組み合わせることで、入力された1系列の光パルス列をパワーがそれぞれ1/4に減少した4チャンネルの光パルス列に等分配して出力する。この光分配器5から出力された4チャンネルの多重化光パルス列は、それぞれ光アンドゲート6a~6dに入力される。

【0008】また、この受信側では、送信側の基本光パルス列と同等の局部基本光パルス列、即ち多重化光パルス列のいずれかのチャンネルの光パルス列に位相が一致する周期100psの局部基本光パルス列が生成され、この局部基本光パルス列が光分配器7に入力されるようになっている。光分配器7も、図3に示した光分配器21と同様の構成の光回路素子である。この光分配器7から出力された4チャンネルの局部基本光パルス列は、それぞれ光遅延器8a~8dを介して対応するチャンネルの光アンドゲート6a~6dに入力される。各光遅延器8a~8dも、図3に示した光遅延器23a~23dと同様の構成であり、チャンネルごとに遅延時間を0ps、25ps、50ps及び75psにそれぞれ設定さ

れている。なお、ここでは、多重化光パルス列と局部基本光パルス列の各光パルスのFWHMを10psとする。

【0009】上記各光アンドゲート6a~6dは、光分配器5で分配された多重化光パルス列と光遅延器8a~8dでチャンネルごとに25psずつ時間をずらした局部基本光パルス列との論理積を取る光回路素子であり、これら双方の光パルス列が同時に光パルスを有する場合にのみこの光パルスを出力する。従って、これら各チャンネルの光アンドゲート6a~6dからは、多重化光パルス列の中のそれぞれが対応するチャンネルの光パルスのみが出力され、それ以外の全ての光パルスがマスクされるので、この多重化光パルス列をチャンネルごとの光パルス列に分離することができる。そして、これら各チャンネルごとに分離された光パルス列は、40Gb/sの多重化光パルス列に対して、電気的な信号処理が容易となる10Gb/sの伝送速度に低下するので、それぞれ光電変換により電気信号に変換して元の伝送信号を復調することができる。

【0010】上記光アンドゲート6a~6dとなる光回路素子としては、光ファイバ等における非線形性による4光波混合作用を利用したものが知られている。4光波混合作用は、例えば光ファイバのゼロ分散波長を $\lambda_0$ とし、波長がこの $\lambda_0$ の近傍の $\lambda_1$ である強度が10mW程度の光と、波長がこの $\lambda_0$ の近傍ではあるが $\lambda_1$ とは異なる $\lambda_2$ である強度が同じく10mW程度の光をこの光ファイバに入力すると、 $\lambda_1$ や $\lambda_2$ とは異なる波長 $\lambda_3$ の光が発生する現象である。即ち、ゼロ分散波長 $\lambda_0$ が1.551 $\mu$ mの場合、波長 $\lambda_1$ が $\lambda_0$ と同じ1.551 $\mu$ mの光と、波長 $\lambda_2$ が1.5525 $\mu$ mの光をこの光ファイバに入力すると、波長 $\lambda_3$ が1.5495 $\mu$ mとなる光が発生する。そして、この波長 $\lambda_3$ は、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の関数となって一意に定まり、このように双方の光の波長が接近している場合には、これらの波長の関係が近似的に $\lambda_2 + \lambda_3 = 2 \times \lambda_1$ となる。ただし、このような光ファイバに波長が $\lambda_1$ や $\lambda_2$ の光を単独で入力したとしても、波長 $\lambda_3$ の光は発生しない。従って、この光ファイバは、波長が $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の光が同時に入力された場合にのみ波長が $\lambda_3$ の光が発生するので、波長選択フィルタによってここで新たに発生した波長 $\lambda_3$ の光のみを取り出せば、2系列の光の論理積を取った光出力を得ることができる。

【0011】上記4光波混合作用を利用した従来の時間多重化光パルス列分離装置は、図5に示すように、各光アンドゲート6a~6dがそれぞれ光結合器9と4光波混合光ファイバ3と波長選択フィルタ11とによって構成される。また、他の構成部材については、図4に示した時間多重化光パルス列分離装置と同じである。ただし、ここでは、光分配器5に入力する多重化光パルス列の波長を $\lambda_2 = 1.5525\mu$ mとし、光分配器7に入

力する局部基本光パルス列の波長を $\lambda_1 = 1.551 \mu\text{m}$ とする。

【0012】各チャンネルの光結合器9は、図3に示した光結合器24と同様の構成であるが、ここでは2系列の光パルス列を1系列に結合させるだけなので単一の3デシベルカブラからなり、光分配器5で分配された当該チャンネルの多重化光パルス列と、当該チャンネルの光遅延器8a~8dで遅延された局部基本光パルス列とを結合する。各チャンネルの4光波混合光ファイバ3は、ゼロ分散波長が $\lambda_0 = 1.551 \mu\text{m}$ である4光波混合作用を生じる光ファイバであり、光結合器9で結合された波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の光パルス列をそれぞれ光波混合する。従って、この4光波混合光ファイバ3では、各チャンネルに共通の多重化光パルス列とチャンネルごとに時間がずれた局部基本光パルス列とが光波混合され、この局部基本光パルス列の各光パルスと同時に多重化光パルス列の光パルスが入力された場合に限り、4光波混合作用によって波長が $\lambda_3 = 1.5495 \mu\text{m}$ の光パルスが発生する。各チャンネルの波長選択フィルタ11は、波長が $\lambda_3 = 1.5495 \mu\text{m}$ を中心とするごく限られた範囲内の光のみを通過させる光フィルタであり、4光波混合光ファイバ3から出力された光パルス列の中から4光波混合作用によって発生した光パルス列のみを選択して取り出す。この結果、各チャンネルの波長選択フィルタ11からは、多重化光パルス列における当該チャンネルの光パルスのみが取り出され、これら光結合器9と4光波混合光ファイバ3と波長選択フィルタ11とからなる各光アンドゲート6a~6dが図4に示したものと同一機能を実現するので、この多重化光パルス列をチャンネルごとの光パルス列に分離することができる。

【0013】また、上記光アンドゲート6a~6dとなる光回路素子として、光ファイバ等における非線形性による相互位相変調効果を利用したものも知られている。例えば光ファイバに数百mW程度の光を入力すると、光カー効果によってこの光ファイバの屈折率が変化する。そこで、このような数百mW程度の光と共にこれとは波長が異なる数mW程度の光を同時に入力すると、この数mW程度の光の位相が変化することになる。相互位相変調効果は、この数mW程度の光の位相が数百mW程度の光の影響を受けて変化する現象をいい、これによって位相の変化した光のみを取り出せば、2系列の光の論理積を取った光出力を得ることができる。そして、上記図5における各光遅延器8a~8dから出力される局部基本光パルス列を各光パルスのピークパワーが数百mW程度のものとし、4光波混合光ファイバ3を相互位相変調効果を生じさせるものとし、波長選択フィルタ11を位相弁別器に入れ替えれば、図5の時間多重化光パルス列分離装置がこの相互位相変調効果を利用するものとなる。

【0014】上記相互位相変調効果を利用して多重化光パルス列のチャンネルごとの分離を一括して行うことが

できる時間多重化光パルス列分離装置も従来から報告されている。この時間多重化光パルス列分離装置は、図6に示すように、多重化光パルス列と局部光パルス列が光結合器1に入力されるようになっている。多重化光パルス列は、図4及び図5と同様に、周期100psの基本光パルス列に変調を加えて多重化したものである。ただし、ここでは説明を簡単にするために、2チャンネルの基本光パルス列を50psだけずらして多重化した多重化光パルス列について示す。また、この多重化光パルス列の各光パルスのピークパワーは数mW程度のものとする。局部光パルス列は、光の強度が正規分布曲線状に大きく変化する山型の光パルスが周期100psで繰り返し現れる光パルス列である。また、この局部光パルス列の各光パルスのピークパワーは数百mW程度に達するものとする。そして、この局部光パルス列は、山型の各光パルスの時間幅の間に多重化光パルス列の各チャンネルの2つの光パルスが重なるように同期させて光結合器1に入力される。ただし、図6に示す局部光パルス列の波形では、対比を明確にするために、1点鎖線で示した多重化光パルス列のピークパワーをこの局部光パルス列のピークパワーに一致させて表している。

【0015】光結合器1は、図5に示した光結合器9と同様の構成である。そして、この光結合器1で結合された光パルス列は、相互位相変調光ファイバ10に入力される。相互位相変調光ファイバ10は、相互位相変調効果を生じさせる光ファイバである。従って、多重化光パルス列の各光パルスは、同時に入力される局部光パルス列の光強度に応じて位相が変化する。しかも、ここでは局部光パルス列における各光パルスの光強度の時間微分値も変化するので、多重化光パルス列の各光パルスの位相の変化は波長の変化となって現れる。即ち、局部光パルス列の各光パルスの前半の半周期では、光強度の時間微分値が正の値で変化するので、多重化光パルス列の各光パルスの波長は長波長側にシフトし、後半の半周期では、光強度の時間微分値が負の値で変化する所以、多重化光パルス列の各光パルスの波長は短波長側にシフトする。また、多重化光パルス列が3チャンネル以上の光パルス列を多重化した場合であっても、各チャンネルに対応する局部光パルス列の光強度の時間微分値が異なるようにしておけば、多重化光パルス列の各光パルスの波長のシフト量を相違させることができる。

【0016】上記のようにして相互位相変調光ファイバ10で相互位相変調効果を受けた光パルス列は、分光器4に入力される。分光器4は、入力された光を分光して特定の波長の光を取り出す光回路素子であり、ここでは多重化光パルス列の波長が相互位相変調効果により長波長側にシフトされた波長と短波長側にシフトされた波長との2系統の光パルス列のみを出力するようになっている。従って、この分光器4は、多重化光パルス列における各周期の前半の光パルスのみからなる光パルス列と後

半の光パルスのみからなる光パルス列とを分けて出力することにより、チャンネルごとの分離を行うことができる。しかも、図6に示した時間多重化光パルス列分離装置では、1系列の局部光パルス列によって、この多重化光パルス列のチャンネルごとの分離を一括して行うことができるため、装置構成が簡単になるという利点も有する。

#### 【0017】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記図4及び図5に示した従来の時間多重化光パルス列分離装置では、4光波混合作用と相互位相変調効果のいずれを利用する場合にも、光アンドゲート6a～6dがチャンネル総数分（上記例では4組）だけ必要となり、装置が大型かつ高価になるという問題があった。しかも、多重化光パルス列を光分配器5でチャンネルごとに分配する際に、光パルスのパワーが減少するので（上記例では4チャンネルに分配するためにパワーも1/4に減少する）、多重化チャンネル数や伝送距離が制限されるという問題もあった。

【0018】また、上記図6に示した相互位相変調効果を利用する従来の時間多重化光パルス列分離装置では、光アンドゲート6a～6dに相当する光回路素子がチャンネル総数にかかわりなく1組で済むという利点はあるものの、局部光パルス列が数百mWという非常に大きなピークパワーを必要とするため、通常の半導体レーザでは出力し得ず、局部光パルス列の発生装置が大型化し高価になるという問題があった。しかも、図6に示したように、局部光パルス列の光強度の時間微分値を変化させる場合には、この光強度の変化を高精度に制御する必要があり、これによって局部光パルス列の発生装置がさらに高価になるという問題もあった。

【0019】この発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、波長が変化する局部光パルス列を多重化光パルス列と光波混合させて4光波混合作用によりチャンネルごとに異なる波長の光パルス列を発生させることにより、この多重化光パルス列のチャンネルごとの分離を簡単に行うことができる時間多重化光パルス列分離方法及びその装置を提供することを目的としている。

#### 【0020】

【課題を解決するための手段】即ち、この発明の時間多重化光パルス列分離方法は、上記課題を解決するために、①同一波長の光による同一周期の基本光パルス列をチャンネルごとに順次時間をずらして重畳させたフォーマットであって、各光パルスに強度変調が加えられた多重化光パルス列と、この多重化光パルス列の光の波長の近傍において、基本光パルス列の周期ごとに波長が繰り返し変化する局部光とを結合させて4光波混合作用を施し、この4光波混合作用を施した光から特定波長の光を取り出すことにより、多重化光パルス列からチャンネルごとの光パルス列を分離することを特徴とする。

【0021】また、この発明の時間多重化光パルス列分離装置は、②同一波長の光による同一周期の基本光パルス列をチャンネルごとに順次時間をずらして重畳させたフォーマットであって、各光パルスに強度変調が加えられた多重化光パルス列からチャンネルごとの光パルス列を分離する時間多重化光パルス列分離装置において、多重化光パルス列の光の波長の近傍において、基本光パルス列の周期ごとに波長が繰り返し同一の変化を行う局部光を発生する局部光発生器と、この局部光発生部が発生した局部光と多重化光パルス列とを結合させる光結合器と、この光結合器で結合させた光に4光波混合作用を施す4光波混合器と、この4光波混合器で4光波混合作用を施した光を分光する分光器とを備えたことを特徴とする。

【0022】さらに、③前記②の多重化光パルス列におけるチャンネルの総数をNとし、このチャンネル間の時間間隔をTとし、この多重化光パルス列の各光パルスの時間幅をWとした場合に、前記②の局部光発生器が、

$(N-1) \times T + W$ よりも広い時間幅を有する光パルスであり、かつ、この時間幅の間に波長が連続的に所定の変化を行う光パルスが基本光パルス列の周期で繰り返し現れる光パルス列を局部光として発生させるものであることを特徴とする。

#### 【0023】

【作用】①の手段によれば、多重化光パルス列と局部光とが結合されて4光波混合作用が施されるので、この多重化光パルス列の各光パルスは、チャンネル間では互いに相違し同じチャンネル同士では共通の波長の局部光と混合されることになる。ここで、4光波混合作用とは、非線形媒体に波長 $\lambda_1$ の光とこの波長 $\lambda_1$ とは異なる波長 $\lambda_2$ の光を同時に入力したときに、これら波長 $\lambda_1$ と波長 $\lambda_2$ の関数であって、波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ とは異なる波長 $\lambda_3$ の光が発生する現象をいう。従って、この4光波混合作用を施した光には、多重化光パルス列の特定のチャンネルに光パルスが存在した場合にのみ、この光パルスの波長と当該チャンネルに対応する局部光の波長とによって一意に定まる別の波長の光パルスが現れ、また、他のチャンネルについても同様にそれぞれ異なる波長の光パルスが現れる。そこで、これら新たな波長の光パルスをそれぞれ波長ごとに分けて取り出せば、多重化光パルス列からチャンネルごとの光パルス列を分離することができる。

【0024】この結果、①の時間多重化光パルス列分離方法によれば、多重化光パルス列のチャンネルごとの分離を1系列の局部光によって一括して行うことができる。しかも、ここで用いる局部光は、波長が繰り返し変化するればよいので、ピークパワーを特に大きくしたり強度変化を高精度に制御する必要がなくなる。

【0025】また、②の手段によれば、局部光発生器が発生した局部光を光結合器が多重化光パルス列と結合さ



せて4光波混合器に送る。このため、4光波混合器では、多重化光パルス列の各光パルスがチャンネル間では互いに相違し同じチャンネル同士では共通の波長の局部光と混合されて4光波混合作用を受けることになるので、多重化光パルス列の各チャンネルに光パルスが存在した場合にのみチャンネルごとに異なる別の波長の光パルスが発生する。そこで、これら新たな波長の光パルスを分光器によってそれぞれ波長ごとに分けて取り出せば、多重化光パルス列からチャンネルごとの光パルス列を分離することができる。

【0026】この結果、②の時間多重化光パルス列分離装置によれば、局部光発生器から発せられた1系列の局部光を光結合器により一括して多重化光パルス列と結合させて1個の4光波混合器に送るだけで、分光器によってチャンネルごとの分離ができるので、装置構成を簡易化することができる。しかも、局部光発生器は、波長が繰り返し変化する局部光を発すればよいので、この局部光のピークパワーを特に大きくしたり強度変化を高精度に制御する必要がなくなり、小型かつ安価な装置によって実現することができる。

【0027】さらに、③の手段によれば、局部光発生器から発せられる局部光の各光パルスが、多重化光パルス列における基本光パルス列の各周期内で全てのチャンネルの光パルスと重なって結合されるので、前記②の場合と同様に、チャンネルごとに異なる別の波長の光パルスを発生させることができる。そして、このように各光パルスの時間幅の間に波長が連続的に変化する局部光は、半導体レーザに高速度で強いパルス変調の電流を流した場合のチャープ特性を利用したり、分散の大きい光ファイバに時間幅の短い光パルスを通過させることにより容易に得ることができる。

【0028】

【実施例】以下、この発明の具体的実施例について図面を参照して説明する。

【0029】図1及び図2は本発明の一実施例を示すものであって、図1は時間多重化光パルス列分離装置のブロック図、図2は多重化光パルス列と局部光パルス列の波形図である。なお、図5及び図6に示した従来例と同様の機能を有する構成部材には同じ番号を付記する。

【0030】本実施例では、2チャンネル多重化した20 Gbit/sの伝送速度の多重化光パルス列をチャンネルごとの10 Gbit/sの光パルス列に分離する時間多重化光パルス列分離装置とこの装置を用いた光パルス時間多重化方法について説明する。

【0031】この時間多重化光パルス列分離装置は、図1に示すように、1組の光結合器1と局部光パルス列発生器2と4光波混合光ファイバ3と分光器4とで構成される。光結合器1は、2系統の光を1系統に結合する3デシベルカブラによって構成され、送信側から伝送されて来る多重化光パルス列と局部光パルス列発生器2から

送られて来る局部光パルス列とが入力されるようになっている。多重化光パルス列は、波長が $\lambda_2 = 1.5525 \mu\text{m}$ であり周期が100 psの2チャンネルの基本光パルス列に、電気的なデジタル信号の伝送信号によってチャンネルごとに各光パルスの透過又は遮断を制御して変調を加えると共に、時間を50 psずらして（位相を $180^\circ$ ずらして）重畳したものであり、送信側から光ソリトン伝送により伝送されて来たものである。また、この多重化光パルス列の各光パルスのFWHMは100 psとする。なお、この多重化光パルス列は、フォーマットが2チャンネル多重化したものであれば、周期が50 psの光パルス列に対して一括して変調を加えた後に、これを2チャンネル多重化した光パルス列として取り扱うようにしたものであってもよい。

【0032】局部光パルス列発生器2は、図示しない回路で発生させた多重化光パルス列に同期するクロック信号に基づいて局部光パルス列を出力する。局部光パルス列は、図2に示すように、時間幅が60 ps以上の光パルスが周期100 psで繰り返し現れる光パルス列である。そして、この局部光パルス列は、クロック信号に基づき、各光パルスが多重化光パルス列の第1チャンネルの光パルスP1の直前で立ち上がるような位相で発生される。この局部光パルス列の光パルスの時間幅は、チャンネル総数をNとし、チャンネル間の時間間隔をTとし、多重化光パルス列の各光パルスの時間幅をWとした場合に、 $(N-1) \times T + W$ によって計算されるものであり、ここでは、チャンネル総数が $N=2$ で、チャンネル間の時間間隔が $T=50 \text{ ps}$ で、多重化光パルス列の各光パルスの時間幅をFWHMで表すと $W=10 \text{ ps}$ となるので、これによって60 ps以上の時間幅が算出される。時間幅をこのように定めると、この光パルスは、多重化光パルス列の第1チャンネルの光パルスP1の直前に立ち上がることにより、60 ps以上の時間幅の間にこの多重化光パルス列における第1チャンネルの光パルスP1と第2チャンネルの光パルスP2とに確実に重ね合わせることができるようになる。なお、この図2においても、上記図3の場合と同様に、多重化光パルス列の波形を全ての光パルスP1、P2が光変調器で透過されたものとして示す。

【0033】また、局部光パルス列の各光パルスは、60 ps以上の時間幅の間に波長 $\lambda_1$ が徐々にシフトするようになっている。即ち、本実施例では、図2に示すように、多重化光パルス列における第1チャンネルの光パルスP1のピークと重なる位置で波長が $\lambda_1 = 1.5505 \mu\text{m}$ となり、第2チャンネルの光パルスP2のピークと重なる位置では波長が $\lambda_1 = 1.5510 \mu\text{m}$ となっており、この間に波長が0.5 nm長波長側にシフトする。このような局部光パルス列における各光パルスの波長の変化は、例えば半導体レーザに高速度で強いパルス変調の電流を流した場合に現れるチャープ特性によって



容易に得ることができる。このチャープ特性は、半導体中のキャリア密度が時間変化すると、導波路の屈折率が変わるために放射される光の波長も変化するという特性であり、このチャープ特性によって得た光パルスは、時間幅の後方ほど波長が長波長側にシフトすることになる。また、このような光パルスの波長の変化は、時間幅が1 ps程度の短い光パルスを分散の大きい光ファイバに通すことによって容易に得ることができる。時間幅が1 ps程度の光パルスは、通常は2 nm以上の範囲の波長成分を含んでいる。そして、この光パルスを例えば全長で40 ps/nmの分散を有する光ファイバに入力すると、時間幅が80 ps以上の光パルスが出力され、しかも、この光パルスの波長が2 nm以上の範囲内で長波長の成分ほど時間幅の後方に分布することになる。従って、局部光パルス列発生器2は、これら半導体レーザのチャープ特性や光ファイバの分散を利用して局部光パルス列を発生させればよい。ただし、局部光パルス列の各光パルスの波長変化は、多重化光パルス列における各チャンネルの光パルスに重なる位置での波長がそれぞれ異なればよいので、必ずしも上記のように連続的に長波長側にシフトするものである必要はない。

【0034】図1に示す4光波混合光ファイバ3は、ゼロ分散波長が $\lambda_0 = 1.551 \mu\text{m}$ で長さが25 kmである4光波混合作用を生じる光ファイバであり、光結合器1で結合された波長 $\lambda_2$ の多重化光パルス列と波長 $\lambda_1$ の局部光パルス列とを光波混合する。従って、この4光波混合光ファイバ3では、波長が一定の $\lambda_2 = 1.5525 \mu\text{m}$ である多重化光パルス列における第1チャンネルの光パルスP1と、局部光パルス列の光パルスにおける波長が $\lambda_1 = 1.5505 \mu\text{m}$ となる部分の光とが光波混合され、この第1チャンネルの光パルスP1が送信側で変調により透過されている場合には、4光波混合作用によって波長が $\lambda_3 = 1.5485 \mu\text{m}$ となる光パルスが発生する。また、波長が同じく $\lambda_2 = 1.5525 \mu\text{m}$ である多重化光パルス列における第2チャンネルの光パルスP2と、局部光パルス列の光パルスにおける波長が $\lambda_1 = 1.5510 \mu\text{m}$ となる部分の光とが光波混合され、この第2チャンネルの光パルスP2が送信側で変調により透過されている場合には、4光波混合作用によって波長が $\lambda_3 = 1.5495 \mu\text{m}$ となる光パルスが発生する。

【0035】分光器4は、回折格子等によって構成される光回路素子であり、入力された光を分光して特定の波長の光を取り出すことができる。そして、本実施例では、上記4光波混合作用によって新たに発生した波長が $\lambda_3 = 1.5485 \mu\text{m}$ の光パルスと波長が $\lambda_3 = 1.5495 \mu\text{m}$ の光パルスとからなる2系統の光パルス列を別個に出力するようになっている。従って、この分光器4は、多重化光パルス列における第1チャンネルの光パルス列と第2チャンネルの光パルス列とを分離して出

力することができる。

【0036】上記構成によれば、4光波混合光ファイバ3において、多重化光パルス列における第1チャンネルの光パルスP1と局部光パルス列の光パルスにおける波長が $\lambda_1 = 1.5505 \mu\text{m}$ となる部分の光との論理積が演算されて、この演算結果を波長が $\lambda_3 = 1.5485 \mu\text{m}$ の光パルスの有無として得ると共に、第2チャンネルの光パルスP2と局部光パルス列の光パルスにおける波長が $\lambda_1 = 1.5510 \mu\text{m}$ となる部分の光との論理積が演算されて、この演算結果を波長が $\lambda_3 = 1.5495 \mu\text{m}$ の光パルスの有無として得ることができる。そして、これら2種類の波長 $\lambda_3$ の光パルス列が分光器4から別個に出力されるので、1系統の局部光パルス列のみを用いて、20 Gbit/sの伝送速度の多重化光パルス列からチャンネルごとの10 Gbit/sの光パルス列を一括して分離することができる。また、このようにしてチャンネルごとに分離した光パルス列をそれぞれ光電変換により電気信号に変換して元の伝送信号を復調することができる。

【0037】この結果、本実施例の時間多重化光パルス列分離装置とこの装置を用いた時間多重化光パルス列分離方法は、1組の光結合器1と局部光パルス列発生器2と4光波混合光ファイバ3と分光器4のみを用いて、多重化光パルス列をチャンネルごとに一括して分離することができるので、装置を小型かつ安価にすることができる。また、多重化光パルス列は、光結合器1によってパワーが1/2に減少されるが、チャンネル数が多い場合にもこれ以上のパワーの減少はないので、多重化チャンネル数や伝送距離が必要以上に制限されることもなくなる。

【0038】しかも、局部光パルス列発生器2は、特に光強度の大きい局部光パルス列を発生させる必要がないので、通常の出力の半導体レーザを用いることが可能となり、また、波長変化による4光波混合作用を利用するため、光強度の変化を高精度に制御する必要がなくなるので、この局部光パルス列発生器2を小型かつ安価な装置とすることができる。

【0039】なお、上記実施例では、2チャンネルの時間多重化を行った場合について説明したが、本発明はこれに限らず、他の複数チャンネルの時間多重化が行われた多重化光パルス列についても同様に実施することができる。また、上記実施例では、基本光パルス列の周期を100 psとしたが、本発明はこれに限らず、他の周期であっても同様に実施することができる。

【0040】さらに、上記実施例では、多重化光パルス列のチャンネル間の時間間隔を等間隔の50 psとしたが、この時間間隔は必ずしも等間隔である必要はない。例えば、チャンネル総数をNとし、等間隔ではない各チャンネル間の時間間隔を $T_i$  ( $i$ は1~N-1の範囲の整数)とし、これらの時間間隔 $T_i$ の総和を $\sum T_i$ で表

した場合に、局部光パルス列の光パルスの時間幅を $\Sigma T_i + W$ より広くすればよい。

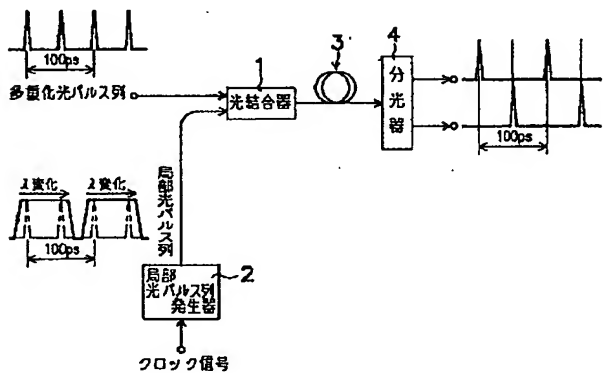
【0041】また、上記実施例では、光ソリトン伝送を行う場合についてのみ説明したが、リターンゼロ方式の光パルス列を伝送する場合であれば、本発明は同様に実施することができる。

【0042】

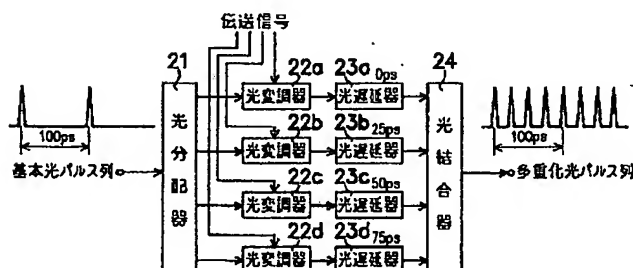
【発明の効果】以上の説明から明らかなように、この発明の時間多重化光パルス列分離方法及びその装置によれば、多重化光パルス列の分離を1系統の局部光によって一括して行うので、小型かつ安価な装置で多重化光パルス列をチャンネルごとに分離することができるようになる。また、局部光の光強度を特に大きくする必要がないので、通常の出力の半導体レーザを用いることが可能となり、しかも、波長変化による4光波混合作用を利用するため、光強度の変化を高精度に制御する必要がなくなるので、この局部光を小型かつ安価な発生装置によって発生させることができるようになる。

\*

【図1】



【図3】



\*【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示すものであって、時間多重化光パルス列分離装置のブロック図である。

【図2】本発明の一実施例を示すものであって、図2は多重化光パルス列と局部光パルス列の波形図である。

【図3】送信側の光パルス時間多重化装置のブロック図である。

【図4】従来例を示すものであって、時間多重化光パルス列分離装置のブロック図である。

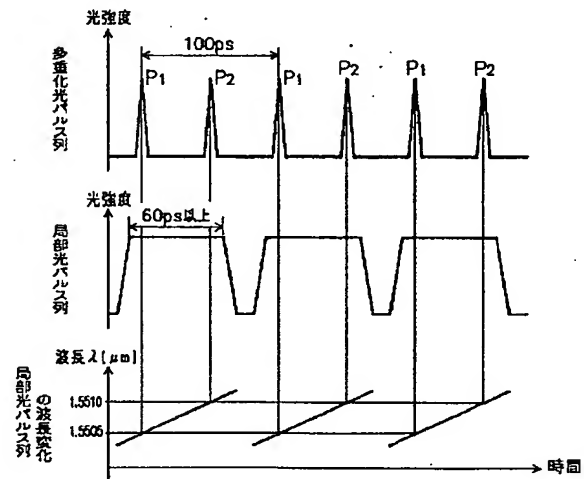
10 【図5】従来例を示すものであって、時間多重化光パルス列分離装置のブロック図である。

【図6】従来例を示すものであって、時間多重化光パルス列分離装置のブロック図である。

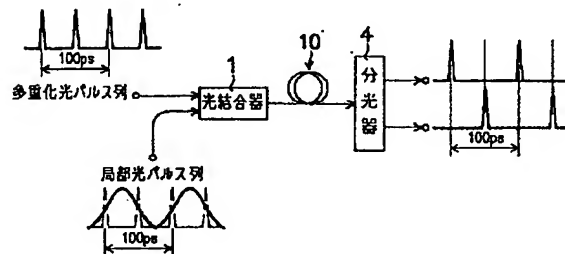
【符号の説明】

- 1 光結合器
- 2 局部光パルス列発生器
- 3 4光波混合光ファイバ
- 4 分光器

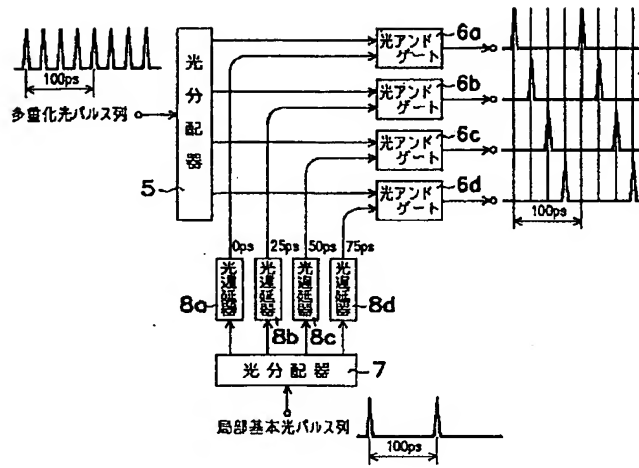
【図2】



【図6】



【図 4】



【図 5】

